

FORMER DES ENSEIGNANTS À L'HISTOIRE DES SCIENCES : ANALYSE ET ENJEUX D'UNE PRATIQUE EN MATHÉMATIQUES

Thomas de Vittori (Université d'Artois – Laboratoire de Mathématiques de Lens)

Email : thomas.devittori@euler.univ-artois.fr

Hervé Loeuille (Collège Yves Coppens – Lannion – IREM de Brest)

Email : herve.loeuille@wanadoo.fr

Résumé : À partir de l'étude d'expériences avec des professeurs stagiaires, cet article propose d'explorer de nouveaux outils pour l'analyse de séances de formation à l'épistémologie et à l'histoire des sciences. Les différentes modalités d'entrée dans la tâche que nous mettons en évidence dans la première partie, sont ensuite appliquées à une situation de classe mêlant mathématiques et histoire des sciences. Ce faisant, nous tentons d'explicitier les enjeux de pratiques de formation en histoire des sciences pour la constitution de compétences professionnelles.

Mots-clés : formation des maîtres, épistémologie, histoire des sciences, histoire des mathématiques.

1. Introduction

La didactique et l'histoire des disciplines sont deux champs, certes bien distincts, mais aux frontières communes (Barbin 1997b, Raichvarg 1987) et dans notre pays, les travaux effectués depuis plusieurs décennies dans le cadre des Instituts de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques (IREM) sur l'introduction de l'histoire des mathématiques dans les classes ont permis de tracer les premières grandes lignes de l'intérêt d'une perspective historique dans l'enseignement des sciences. La situation des mathématiques est particulièrement privilégiée comparée à celle des autres disciplines scientifiques comme les sciences physiques ou les sciences de la vie et de la Terre qui n'ont pas bénéficié d'infrastructures comme les IREM, mais une partie du travail effectué a une dimension générique. Les vertus pédagogiques, qu'elles soient liées à la découverte de nouvelles notions, à l'illustration de théorèmes, ou plus modestement à l'exotisme des textes anciens, sont généralement admises (Barbin 1997a, Dorier 2000) et dépassent le cadre des seules mathématiques (Blay 2006, Martinand 1993, Matthews 1994). Du côté de l'institution, les programmes officiels de l'enseignement secondaire incitent régulièrement à l'introduction d'éléments d'histoire, particulièrement en

mathématiques et en sciences physiques, mais aussi en science de la vie et de la Terre. Rappelée dans le cahier des charges de la formation des maîtres au paragraphe intitulé « Maîtriser les disciplines et avoir une bonne culture générale, » cette pression institutionnelle a mis en évidence la nécessité d'une formation des enseignants à l'histoire des sciences ainsi qu'une sensibilisation à ses méthodes et ses enjeux (Guedj & al 1999, Hodson 1985). Initialement présentes uniquement dans la formation continue et dans quelques démarches individuelles (Rosmorduc 1995), l'épistémologie et l'histoire des sciences visent désormais à s'intégrer dans la formation initiale des enseignants. Les difficultés liées à l'utilisation de supports historiques sont multiples. Ainsi transposés dans un contexte de formation initiale des maîtres, les objectifs qui ne concernaient il y a quelques années encore que l'élargissement d'une certaine culture sur la discipline induisent désormais l'acquisition de compétences professionnelles complexes et de différentes natures : réflexion sur la définition d'une science, sur ses objets ou ses méthodes, acquisition de connaissances sur un thème ou sur une période, ou encore rôle de la contextualisation d'un texte ou d'un problème. Souligné par de précédentes études sur la place de l'histoire des sciences dans la formation des maîtres (ReForEHST 2006), ce dernier aspect est généralement reconnu comme la signature d'une formation "à" l'histoire des sciences, distincte du simple cours. L'objectif n'est plus de donner goût à une approche différente de notions mais de construire, ou aider à stabiliser, des compétences professionnelles indispensables à une pratique pleine et consciente du métier d'enseignant.

Le travail que nous présentons ici se situe avant l'intégration des IUFM à l'Université. Il s'agit de projets pilotes de formation de professeurs stagiaires (de mathématiques principalement mais aussi de physique – chimie) dans lesquels nous nous sommes impliqués. Lorsqu'ils deviennent professeurs, l'année de formation qui suit la réussite au concours est souvent pour les stagiaires le premier contact avec l'histoire de leur discipline. L'état de leurs connaissances est donc en lien direct avec l'absence de modules sur ces sujets dans leur cursus. Généralement organisé autour d'un cycle de trois interventions, il s'agissait, pour nous, à la fois de former les futurs enseignants à l'histoire des sciences et ensuite de décliner ces nouvelles connaissances pour la mise en place de séances dans un contexte de classe. Dans ce qui suit, notre propos portera surtout sur la première partie de ces temps de formation et leurs enjeux didactiques, la dimension « activités pour la classe » n'apparaîtra qu'à la fin comme une illustration de ce que pourrait être la construction d'une compétence professionnelle.

2. Perception du temps et compétences professionnelles

Afin d'évaluer les conceptions initiales des jeunes professeurs sur leur discipline et son histoire, un questionnaire a été proposé à un groupe de stagiaires de mathématiques. Les questions étaient volontairement simples, voire caricaturales, pour limiter les erreurs d'interprétation et aussi pour permettre d'effectuer le même test sur des élèves de collège et de lycée. Les questions se décomposent en deux groupes : trois affirmations sur la place d'une dimension historique dans les mathématiques (existence ou non, durée, ...), puis trois affirmations sur la vivacité de ce champ (nouveaux

résultats, utilité, ...).

Affirmations :	Tout à fait d'accord	Plutôt d'accord	Plutôt pas d'accord	Pas d'accord du tout	Je ne sais pas
Les mathématiques ont une histoire	15	1			
Les mathématiques ont toujours existé	9	3	1	2	1
Les mathématiques ont été inventées il y a 100 ans			3	13	
Les mathématiciens découvrent de nouveaux résultats	12	3	1		
Il n'y a plus rien de nouveau à trouver en mathématiques				16	
Les mathématiques sont utiles dans la vie de tous les jours	5	8	2	1	

enseignants. Une précédente étude sur les perceptions des stagiaires sur leur discipline (de Vittori 2008) a montré que leur posture philosophique est souvent complexe et qu'elle ne doit pas être résumée à un seul courant. Néanmoins, mises à part ces quelques subtilités philosophiques, il y a indubitablement une perception immédiate de l'historicité des mathématiques. Cette perception n'a pas, en général, fait l'objet d'une réflexion particulière. Elle repose essentiellement sur des idées communes comme l'acceptation de sa propre temporalité ce qui illustre, une fois encore, l'absence d'éléments d'épistémologie dans les cursus scientifiques.

Afin de compléter cette première partie de l'étude, le même questionnaire a été proposé à des élèves du secondaire. L'objectif était de pointer un éventuel décalage entre les conceptions des professeurs et celles de leurs élèves. Contrairement à d'autres aspects pour lesquels les néo-enseignants n'envisagent pas les choses de la même manière (de Vittori 2009), on retrouve, à propos de la temporalité, les mêmes résultats lorsqu'on interroge des élèves. Sur un échantillon de plus de deux cents enfants, la répartition des réponses est semblable à celle obtenue chez les professeurs (80% pensent que les mathématiques ont une histoire et que cette histoire a plus de cent ans, 80% voient les mathématiques comme une discipline vivante). Les mêmes doutes apparaissent quant à l'origine des mathématiques (66% pensent que les mathématiques ont toujours existé contre 33% qui pensent le contraire) mais sur cet aspect les études sont encore en cours. Professeurs et élèves sont dans une même aire culturelle et la manière dont ils perçoivent les mathématiques dans le temps est similaire (Duquette 2007). Pour les professeurs stagiaires, les interrogations comme : que sais-je sur cette période ? Qui est cet auteur ? Ou encore quelles sont mes connaissances sur la constitution de cette notion ? ... leur sont la plupart du temps étrangères. La perception qu'ils ont de leur discipline est presque exclusivement implicite et conforme aux idées communément admises (Guilbert 1992, Guilbert & al 1993, King 1991, Tsai 2007). Ces premiers éléments de description de l'état initial des conceptions des stagiaires incitent à penser que la temporalité des sciences est déjà intégrée. L'objectif d'une formation des maîtres à l'histoire des sciences ne saurait donc se réduire à son acquisition. S'appuyant sur ces préconceptions, le travail va plutôt consister dans la transformation de cette perception intuitive de l'historicité en une compétence utile pour l'exercice du métier. Cette compétence se décompose, selon nous, en deux parties, d'une part l'acquisition de ce nous appellerons la vigilance historique et d'autre part l'utilisation de méthodes

spécifiques à l'histoire.

3. La vigilance historique

Tant pour le collège que pour le lycée, les documents officiels fourmillent d'invitations à l'introduction d'éléments d'histoire des sciences. Pour le collège, l'introduction générale aux disciplines scientifiques du programme de 2008 explique que « la perspective historique donne une vision cohérente des sciences et des techniques et de leur développement conjoint », ou plus loin, que les liens entre mathématiques et disciplines artistiques doivent inciter à l'introduction de « quelques grands repères dans l'histoire des sciences, des techniques et des arts. » Le programme de sciences physique précise quant à lui que « des ouvertures en direction de l'histoire des sciences et de l'actualité scientifique [...] montrent la science qui se construit » et que le travail personnel des élèves peut être évalué via une « exploitation de textes scientifiques, historiques ou d'actualité. » En Science de la Vie et de la Terre, pour « l'enseignement de la géologie, la référence à l'histoire des sciences amènent à se situer dans le temps et dans l'espace » et il est proposé par exemple de mener « une étude critique de textes historiques sur la digestion. » La situation est semblable au lycée où, pour n'en citer que quelques exemples, le programme des séries S (HS7 31 août 2000) comporte en mathématiques un paragraphe entier sur « Épistémologie et histoire des mathématiques », et en physique des incitations à une « Étude documentaire sur l'histoire du magnétisme et de l'électromagnétisme » ou sur le « contexte historique » de l'élaboration du télescope de Newton. Conformément à ces recommandations institutionnelles, les manuels et autres documents utilisés par les professeurs contiennent de nombreux supports (frises, médaillons, extraits, etc.) qui renvoient à l'histoire. Cependant, en soit, un document n'est que très rarement historique (Guedj & al 2007). Même une frise, comportant des dates et des découvertes, ne devient historique que lorsqu'on connaît la question à laquelle elle est censée répondre ou qu'elle est supposée éclairer (émergence d'une notion, continuité ou rupture, etc.). Les documents ne sont historiques que sous l'impulsion de l'enseignant. Face à un extrait de texte, par exemple, le professeur doit se demander s'il en connaît l'auteur, sur quelle notion cela porte, à quelle période il a été rédigé. Les réponses à ces interrogations simples vont permettre de construire le discours qui rendra les textes, les images, ou tout autre support, historiques. La prise d'initiative de ce questionnement constitue une forme de vigilance que nous qualifions d'historique. De la même manière qu'un exercice de mathématiques doit induire un questionnement quant à son intérêt et sa place dans un cours, le support historique doit entraîner un certain nombre d'interrogations spécifiques et non exclusives des considérations disciplinaires.

4. La contextualisation

La deuxième partie de la compétence que nous évoquions précédemment est ce qui va rendre cette attention particulière spécifiquement historique. Certains documents, *Petit x*, n°80, 2009

comme par exemple une ancienne démonstration, peuvent amener un questionnement de type didactique et ce, en oubliant complètement l'origine de l'extrait étudié. Ce n'est que par le choix des bonnes questions que ce qui rendait le document historiquement intéressant peut réapparaître. C'est là l'objet spécifique d'une formation des maîtres en épistémologie et histoire des sciences. Pour poser les bonnes questions, quelques connaissances minimales sur les méthodes liées à la démarche historique sont nécessaires. L'analyse de la manière dont a été établi la source (manuscrit original, copie, transmission orale, traduction, manuscrit autographe ou non, etc.) en est un exemple. Suivant le type de document, les démarches peuvent différer, mais elles renvoient toutes à la constitution d'une même compétence professionnelle nouvelle.

Lors d'un recensement sur les pratiques de formation en France dans les IUFM (ReForEHST 2006) un point revient fréquemment. Dans le cadre d'un premier contact avec l'histoire des sciences, le choix parmi les objectifs de formation possibles se porte souvent sur la nécessité d'une contextualisation. Rendre le contexte d'un document historique c'est redonner tout ce qui peut permettre de le situer à la fois dans son époque (vie de l'auteur, institutions, grands moments de l'Histoire générale, ...) mais aussi dans l'évolution de la discipline elle-même (nouvelle théorie, amélioration d'un résultat, simple application, ...). Dans le cas d'un texte, qui reste le support majoritairement utilisé, les bonnes questions porteront évidemment sur l'auteur, son temps, la place de ce texte dans l'histoire... Pour être parfaitement complète, la formation à l'histoire des sciences vise également à fournir les outils liés à cette nouvelle compétence. Il peut s'agir de bibliographies primaires et secondaires, de ressources en lignes, de connaissances transmises directement, ou l'indication de personnes ressources. Ce ne sont là que quelques exemples dont les poids respectifs sont généralement modulés en fonction du sujet traité, du temps disponible, et auxquels peuvent s'adjoindre d'autres éléments comme la réplique d'expérience pour les sciences de la nature.

5. Étude de cas : utilisation de textes historiques

L'utilisation de textes historiques (sources primaires ou secondaires) est l'un des piliers de l'enseignement de l'histoire des sciences (par exemple, Guedj 2005) ou de son utilisation en formation. À ce seul titre, cette pratique mériterait déjà d'être interrogée et les questions de mise en œuvre qui y sont relatives établies le plus clairement possible. Mais la nécessité d'une étude se trouve également renforcée par la demande institutionnelle évoquée précédemment et, au moins dans le cas des mathématiques, par des usages en classe assez répandus. Le travail de formation n'est rien d'autre qu'une forme d'enseignement. Les connaissances, ou savoirs-faire, visés peuvent être identifiés et faire l'objet d'une analyse didactique (Chevallard 1992, p.106-109). Centrée sur la notion de vigilance historique et sur l'apprentissage d'éléments de méthode historique, l'étude de cas que nous proposons repose sur l'analyse comparée de deux séances proposées, en 2007 et 2008, à deux groupes distincts de professeurs stagiaires. Dans les deux cas, les groupes sont constitués d'une trentaine de professeurs, la moitié étant des stagiaires en sciences physiques, l'autre en mathématiques. Chronologiquement, la séance 2 a eu lieu un an après la séance 1. En lien avec ce que nous évoquions dans les

paragrapes précédents, ces séances d'une durée de trois heures chacune, visent toutes deux à introduire l'importance de la contextualisation historique.

Le support de la séance 1 est un texte extrait de *l'Essayeur (Il Saggiatore)* de Galilée (1564-1642), publié en 1623 et comprenant les paragraphes 6, 7 et 8 d'une réponse de Galilée. Pour la séance 2, le texte utilisé est tiré de l'œuvre de James Clerk Maxwell (1831-1879). Il s'agit du premier chapitre de l'ouvrage *Matter and Motion* publié en 1878 (Ed. D. van Nostrand, New York). Les deux textes comprennent environ 3000 mots. Plus précisément, le second texte comporte 3800 mots, mais une partie n'a pas pu être abordée faute de temps. Ces supports sont donnés traduits, dans la version de Christiane Chauviré (Les Belles Lettres, 1980, Paris, p.137-144) pour le texte de Galilée, et via une traduction personnelle, complétée par une copie de l'ouvrage original en anglais, pour le texte de Maxwell. Dans les deux cas, le vocabulaire est courant et la syntaxe usuelle. Concernant les auteurs, même s'ils ne leur sont pas complètement inconnus, les stagiaires ne savent rien de précis sur Galilée et Maxwell. Le temps de formation ayant été annoncé longtemps à l'avance et clairement présenté comme répondant à la nécessaire présence d'histoire des sciences dans les plans de formation, nous nous attendons à l'émergence de questions sur la vie et l'œuvre des auteurs proposés. Mais même après sollicitation par le formateur, « que savez-vous de Maxwell ? », les stagiaires ne cherchent pas naturellement à en savoir davantage. Le document est perçu uniquement comme source d'informations, un peu à l'image des référentiels officiels qu'ils ont pu avoir l'occasion de parcourir au cours de l'année. Nous sommes dans une situation d'absence de vigilance historique, encore accentuée par l'aspect innovant des modalités de travail. Dans leur contenu, les deux textes proposés sont très semblables et sont riches sur le plan historique. Le texte de Maxwell est typique des questionnements du 19^e siècle et aborde la définition de la science physique, l'utilisation d'outils mathématiques comme les vecteurs, ou encore la place de certaines questions philosophiques en science. L'extrait de Galilée est un moment dans une controverse sur la nature des comètes (objets célestes ou terrestres ?) qui met en jeu une confrontation entre une cosmologie de type aristotélicienne et de nouveaux modèles comme celui de Copernic. Même s'ils sont assez denses, les deux extraits proposés sont très accessibles car les notions abordées sont simples. Les auteurs évoquent quelques définitions élémentaires en physique, un peu de géométrie, des rudiments sur les vecteurs, ...; notions qui ne posent aucune difficulté à des professeurs de sciences. Pour ces séances, les stagiaires sont en groupe de 5 ou 6 mélangeant professeurs de mathématiques et professeurs de physique. La structure des deux séances est sensiblement la même. En plus du support historique, toutes deux comprennent la distribution d'une biographie de l'auteur. Sur les recommandations du formateur, les stagiaires doivent lire une partie du texte, relever les idées principales et pointer d'éventuels besoins d'éclaircissements. Choisi pour la présence de positions tranchées quant à certains objets ou méthodes en science, l'idée est que le texte suscite des échanges d'abord au sein du petit groupe puis avec l'ensemble des stagiaires. Par exemple, dès le début de sa réponse, Galilée explique que dans l'un de ses ouvrages, Tycho Brahé « veut y prouver que la comète n'était pas au-dessous de la Lune » ce que l'auteur conteste et propose de réfuter. Pourquoi ces savants se posent-ils cette question ? En quoi est-ce important au point d'en référer au souverain lui-même ? Ces

questions sont évidentes pour qui a un regard formé aux méthodes de l'histoire des sciences car c'est par elles que se conçoit l'évolution des concepts scientifiques. Les problèmes qui peuvent être soulevés par le texte de Maxwell sont tout aussi instructifs. Maxwell écrit : « Nous avons un exemple de cette formation d'un système large à partir de deux, ou plus, systèmes plus petits, quand deux nations voisines, ayant chacune arpenté et cartographié leur propre territoire, s'accordent pour joindre leurs relevés afin d'inclure les deux pays dans un système. » À la suite de cette citation, l'auteur consacre plusieurs paragraphes aux unités de mesure, aux points de références, ... Quelles raisons l'amène à détailler autant des choses qui nous semblent si évidentes ? Là encore, la question du contexte historique, comme ici la mise en place du système métrique dont Maxwell fut un ardent défenseur, est incontournable. Plus loin, il explique l'importance des vecteurs pour le physicien, or ce choix ne peut se comprendre hors du lien avec l'histoire des mathématiques. On trouvera en annexe une trame de chacune des séances dans laquelle sont précisés succinctement : les étapes du déroulement de la séance et un minutage, la structure du texte proposé lors de ces étapes et les tâches proposées aux stagiaires. Des apports historiques et techniques sont prévus par le formateur afin de pouvoir répondre aux questions, inciter au débat et compléter les connaissances des stagiaires. Pour les deux séances, les éléments d'histoire des sciences reposent sur des diaporamas commentés (contexte astronomique sur le statut des comètes, panorama sur l'histoire des vecteurs, sur l'histoire du système métrique, ...). Les détails techniques sont fournis à la demande (étapes de la démonstration de Galilée, définition de termes philosophiques, ...) dans des phases dialoguées. Toujours dans l'annexe, une dernière colonne contient quelques commentaires qui sont détaillés ci-après.

L'analyse du déroulement des séances montre que toutes deux commencent de la même manière. Les stagiaires prennent connaissance du début du texte et de la biographie, mais cela n'entraîne aucun questionnement de leur part. Pour eux, tout est clair. Le texte n'est pas immédiatement lié à un contexte, ce qui rend compte de l'absence de vigilance historique et montre que nous sommes bien au début d'un apprentissage. L'objectif étant d'amener progressivement à l'utilisation de méthodes historiques, les textes ont été choisis pour susciter naturellement le débat. Dans le cas de Galilée, ce temps intervient dès la 35^e minute. À ce moment, les stagiaires sont confrontés à une démonstration géométrique concernant la distance à la Terre de la comète. Le travail d'abord mathématique amène ensuite les jeunes professeurs à s'interroger sur les arguments proposés par l'auteur. L'apprentissage du rôle du contexte débute à ce moment et va permettre d'en affiner les enjeux tout au long de la séance. Concernant le texte de Maxwell, la majeure partie de la séance montre une absence totale d'implication des stagiaires. La lecture des premières pages ne suscite aucun questionnement. La proximité temporelle et l'aspect usuel des notions évoquées est sans doute l'un des éléments de cet échec. Mais l'analyse fine du déroulement de la séance permet de mettre en évidence l'instant où va commencer l'appropriation du problème et donc le début de l'activité initialement prévue. Ce n'est que 25 minutes avant la fin de la séance que ce moment intervient. Ceci correspond à la lecture d'un passage du texte dans lequel Maxwell évoque la place de certaines questions philosophiques en science. L'exemple qu'il prend est une critique des conceptions cartésiennes sur le vide. L'expérience de pensée qui est décrite interpelle immédiatement les stagiaires, ce qui

entraîne une discussion et la réflexion souhaitée sur le contexte scientifique de l'époque. Tant pour la séance sur Galilée que pour celle sur Maxwell, l'analyse permet d'identifier le point de départ d'un temps où les stagiaires prennent en charge l'activité. Induits par le milieu mis en place par le formateur mais sans que ce dernier n'en explicite le contenu, ces moments d'activité autonome hors de l'objectif premier d'enseignement peuvent servir de déclencheur et conditionnent alors la réussite ou non de la séance. Interprétées dans le cadre de la théorie des situations didactiques (Brousseau, 1998), il s'agit de deux situations a-didactiques. Cependant, même si leur rôle didactique est semblable, elles peuvent être décrites plus finement dans leur contenu. Des différences apparaissent alors, ce qui va nous permettre d'introduire une première typologie adaptée à l'enseignement de l'histoire des sciences.

6. Entrée dans la tâche et modalités en histoire des sciences

Les deux exemples précédents montrent que lors d'une séance de formation à l'histoire des sciences, les modalités d'entrée dans la tâche sont variables. Dans la première séance, ce temps intervient lorsque les stagiaires sont confrontés à une démonstration géométrique. Cette dernière est alors prise pour elle-même, indépendamment du contexte. Le travail purement technique sur ce passage permet aux stagiaires d'entrer dans l'argumentation de Galilée et de s'interroger sur les idées scientifiques avancées. La réflexion étant fondée exclusivement sur du contenu mathématique, nous parlerons ici d'une entrée suivant une modalité technique. Vue ici avec l'exemple géométrique, cette modalité peut être déclinée dans toutes les sciences dès lors que l'activité des stagiaires ne repose que sur des connaissances scientifiques déjà acquises. Dans le cas de la deuxième séance, il est clair que bien qu'il s'agisse aussi d'un temps hors de la consigne principale, celui-ci n'est pas du même genre. Le questionnement sur le vide n'est pas de type technique, mais philosophique. Dans un deuxième temps, les interrogations sur la nature du vide induisent une réflexion sur les sciences physiques, en particulier dans leurs liens avec la Nature. Une fois encore, ce qui a été fait ici dans le cadre des sciences physiques, peut se décliner avec les mathématiques ou les sciences de la vie dès lors qu'on s'interroge sur les concepts fondamentaux de ces disciplines comme le nombre, la figure, le vivant, etc. Dans tous les cas, une entrée suivant une modalité philosophique va permettre d'ouvrir sur une réflexion épistémologique et ainsi donner l'opportunité d'un apprentissage concernant l'histoire des disciplines.

Nous le voyons, les deux séances analysées permettent de mettre en évidence différentes modalités qui intéressent directement la formation à l'épistémologie et l'histoire des sciences. Ceci nous amène à une première tentative de typologie. Sans prétendre à l'exhaustivité, nous distinguons cinq modalités intéressantes : technique, philosophique, linguistique, pratique, et enfin dramatique. Les deux premiers cas ont été présentés dans les paragraphes précédents et nous n'y revenons pas. Le cas d'une entrée suivant une modalité linguistique apparaît dans des situations très fréquentes où les stagiaires sont mis en contact avec des textes difficiles sur le plan de la langue. Il peut s'agir d'un passage écrit en ancien français, mais aussi de textes traduits

scientifiquement, c'est-à-dire en restant au plus près de la syntaxe originelle. Dans tous les cas, les difficultés de lecture et de compréhension obligent un travail sur la langue qui permet d'introduire la nécessité de placer les mots, et donc les notions, dans leur contexte historico-scientifique. La quatrième modalité, que nous appelons pratique, intervient lors de l'utilisation d'outils ou d'instruments anciens dont l'usage est inconnu des stagiaires. L'un des exemples est celui de la mesure de la hauteur de bâtiments ou de distances au sol avec des outils d'arpenteurs comme le bâton de Gerbert ou le carré géométrique. Dans ce cas, la découverte du mode d'emploi constitue une première phase d'appropriation qui permet ensuite un travail sur différents aspects historiques ou épistémologiques comme la définition des grandeurs ou la place des instruments en science. La dernière modalité que nous indiquons intervient lors de l'introduction de jeux de rôle, ou lors de la mise en œuvre de mini pièces de théâtre faisant intervenir des savants illustres. Dans les deux cas, la dimension théâtrale va fournir l'occasion d'une étude, souvent approfondie, des conceptions des différents personnages et donc de les replacer dans leur contexte. Le débat entre Galilée et l'Église est un exemple de ce type d'approche.

Les cinq modalités décrites ci-dessus renvoient toutes à des séances déjà observées en France ou à l'étranger (groupe ReForEHST (Fr.), Société catalane d'histoire des sciences (Esp.), Université d'Oldenburg (All.), etc.). Sans prétendre à l'exhaustivité, notre approche se veut pragmatique et vise à préciser quelques outils d'analyse permettant une meilleure compréhension des enjeux d'une formation à l'histoire des sciences.

7. En classe

Afin de tester la portée de notre typologie, celle-ci a été testée pour l'analyse de séances en classe. L'étude porte sur l'un des documents utilisés dans nos classes de collège pour lesquelles nous avons fortement systématisée l'introduction de la perspective historique. Pour ces séances, les objectifs mathématiques restent centraux mais il s'y adjoint une visée culturelle. Les élèves n'ont pas à acquérir de connaissances historiques précises mais ils sont amenés naturellement à une réflexion sur la construction des savoirs. Notre expérience nous laisse penser que cette ouverture offre généralement de bons résultats quant au sens que les enfants donnent aux différentes notions, à l'utilité des mathématiques, etc. Tous ces aspects sont la plupart du temps absents de l'enseignement « classique » des mathématiques dans lequel les notions se suivent dans une construction a-historique. Les élèves passent ainsi de l'ancienne géométrie au concept moderne de fonction, puis reviennent à l'idée d'équation, ... L'histoire permet de relier les notions aux problèmes qui les ont engendrées et ainsi de mieux structurer les connaissances. La séance décrite ci-après, inspirée d'un manuel de sixième (Magnard, Borréani), illustre cette volonté de faire des mathématiques avec leur histoire. L'objectif de la séance est donc double, à la fois mathématique et historique. L'analyse porte sur ce deuxième aspect dont nous montrons que la pertinence peut être rendue par la typologie que nous avons présentée.

La leçon consiste en un travail sur les polygones réguliers. Dans le programme

du collège de 2007, pour la classe de sixième, ne figurent que le triangle équilatéral et le carré. Concernant le carré, les propriétés relatives aux côtés, aux angles, aux diagonales sont à connaître. En troisième, la construction du triangle équilatéral, du carré, de l'hexagone régulier à partir du centre et d'un sommet sont des capacités attendues. Leurs constructions à partir d'un côté peuvent être menées en lien avec la propriété de l'angle inscrit. Le programme d'août 2008 ne mentionne pas ces dernières. Bien que non explicitement au programme (2007) de la classe de sixième dans laquelle a eu lieu l'expérimentation, les activités proposées permettent de réinvestir des compétences étudiées depuis le début de l'année. Le document (annexe 3) est divisé en trois parties qui correspondent à la séquence des événements. Dans un premier temps, quelques éléments historiques sont donnés sur l'étymologie du mot polygone ainsi que sur Euclide et la géométrie grecque. Au moment de l'année où nous faisons faire cette activité, les élèves ont déjà « rencontré » Euclide et rapidement ils évoquent ce dont ils se souviennent : certains pensent qu'il a inventé la division, qu'il a écrit une sorte d'encyclopédie des mathématiques en 300 ans avant J.C., ou encore qu'il a donné une définition de deux droites perpendiculaires assez différente de celle qu'ils ont apprise. En effet, si le programme d'août 2008, applicable à la rentrée 2009, ne précise pas de définition pour les droites perpendiculaires, en 2007, la définition proposée est : « Deux droites perpendiculaires sont deux droites sécantes déterminant quatre angles égaux. Chacun de ces angles est un angle droit. » Dans les *Éléments* d'Euclide, on trouvera : « Lorsqu'une droite tombant sur une droite forme deux angles adjacents égaux entre eux, chacun des angles égaux est droit, et la droite placée au-dessus est dite perpendiculaire à celle sur laquelle elle est placée. » Pour notre activité, à la suite de l'introduction historique, les élèves doivent lire l'énoncé du premier exercice. La tâche est de tracer une figure en suivant les instructions d'Euclide. Il s'agit pour eux de mettre en œuvre des compétences relatives aux constructions élémentaires, au vocabulaire et à l'écriture symbolique de la géométrie. Les enfants prennent immédiatement leur règle et leur compas, oubliant à cet instant le fait qu'ils travaillent sur un texte ancien. Ils entrent donc dans la tâche suivant une modalité technique. Le deuxième exercice porte sur une autre construction géométrique dans laquelle on demande d'inscrire un carré dans un pentagone. La source utilisée est un texte de Sébastien le Clerc (1637-1714) écrit en ancien français. Bien qu'une mise en garde sur la langue du texte soit proposée dans la marge, les élèves questionnent très rapidement le professeur à propos de la terminologie employée. Ainsi, le mot « quarré » ou les verbes « tirer la ligne » et « eslever » suscitent de nombreuses interrogations. À travers ces échanges sur la manière d'écrire les mathématiques, ils découvrent implicitement un questionnement de type historique. La modalité est alors linguistique. La poursuite de cette activité sera de retranscrire le texte de le Clerc avec le vocabulaire et les notations actuelles. Quelques jours plus tard, une évaluation montrera que tout en ayant consolidé leurs compétences en géométrie, les élèves ont amélioré leurs connaissances sur quelques éléments d'histoire des sciences (des noms, des ouvrages, des problématiques comme la constructibilité des polygones à la règle et au compas, ou leur lien avec le cercle, le fait que les mathématiques ne sont pas immuables, ...) ; ce que l'analyse du déroulement laissait pressentir.

8. Conclusion

En formation comme dans tout enseignement, les pratiques sont multiples et d'autres modalités existent peut-être ou sont à inventer en fonction des objectifs. De même, toutes les séances de formation à l'histoire des sciences ne comportent pas nécessairement un temps d'appropriation semblable à ceux analysés dans les premières parties de cet article. Les pratiques décrites précédemment concernent toutes un objet d'apprentissage particulier qui est le rôle de la contextualisation ; dans le cas d'un enseignement sur un autre sujet, les formes peuvent varier. Toutefois, notre étude du « comment » une séance est efficace, et non du « pourquoi », donne l'opportunité d'élaborer une grille de lecture (avec des outils comme la vigilance historique ou les différentes modalités d'entrée dans l'apprentissage) qui éclaire les temps de formation mais aussi par extension les pratiques de classe. Comme nous l'avons rappelé, l'attente institutionnelle est double : les futurs professeurs doivent acquérir des éléments sur l'histoire et l'épistémologie de leur discipline et les élèves doivent être sensibilisés à la question de la construction des savoirs. L'étude de nos séances de formation montrent que ces objectifs ne sont pas inaccessibles, et ce, du simple fait que le deuxième commande le premier. L'introduction d'une approche historique en classe ne peut se substituer à l'enseignement disciplinaire ; le temps manquerait. Une solution consiste à mener les deux apprentissages en parallèle. L'environnement créé par l'enseignant pour une activité peut acquérir facilement une dimension historique par la forme donnée à l'entrée dans la tâche. Les différentes modalités que nous avons relevées permettent, par exemple, d'approcher la question du contexte historique sans sacrifier les contenus traditionnels. Pour l'élève la superposition des savoirs, leur poids relatif ou les éventuels retours restent généralement transparents. La vue d'ensemble relève de la responsabilité du professeur (Chevallard 1999, p.250-251) et la capacité à mettre en œuvre cette surcouche d'apprentissage renvoie dès lors à la formation des maîtres. À travers quelques temps de formation spécifique, ces derniers peuvent développer des compétences concernant les méthodes en histoire des sciences et ainsi être en mesure de proposer aux élèves, voire de concevoir, des modalités offrant, pour paraphraser les instructions officielles, une vision cohérente des sciences et des techniques et de leur développement.

Bibliographie

- BARBIN É. (1997), Histoire et enseignement des mathématiques : pourquoi ? comment ?, *Bulletin de l'AMQ* (Association Mathématique du Québec), vol.XXXVII, n°1, mars 1997, pp.20-25.
- BARBIN É. (1997), Sur les relations entre épistémologie, histoire et didactique des mathématiques, *Repères-IREM*, n°27, avril 1997, pp.63-80.
- BARBIN É. (1991), The reading of original texts: how and why to introduce a historical perspective, *For the learning of mathematics*, 11.2 (1991) pp.12-14.

- BLAY M. (2006), Peut-on comprendre la science sans l'histoire ?, Colloque *Fractures et recompositions*, ENS, Paris.
- BROUSSEAU, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*, La Pensée Sauvage, Grenoble.
- CHEVALLARD, Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique: perspectives apportées par une approche anthropologique, *Recherches en didactique des mathématiques*, 12 (1), 73-112.
- CHEVALLARD, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique, *Recherches en didactique des mathématiques*, 19 (2), 221-266.
- DE VITTORI T. (2008) Philosophie des mathématiques et formations des professeurs stagiaires, *Actes IV Jordana Ensenyament, Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica*.
- DE VITTORI T. (2009) Démarche d'investigation en mathématiques : Réflexions sur une formation épistémologique des professeurs stagiaires, in Ouvrage collectif ReForEHST sur la démarche d'investigation et l'enseignement des sciences (à paraître).
- DUQUETTE C. (2007), *Les liens théoriques entre la conscience et la pensée historiques : quels impacts pour la recherche empirique ?*, thèse de doctorat, Université Laval.
- DORIER, J-L (2000), Recherche en Histoire et en Didactique des Mathématiques sur l'Algèbre linéaire – Perspectives théorique sur leurs interactions, *Les cahiers du laboratoire Leibniz*, 12, octobre 2000.
- GUEDJ M., LAUBE S., SAVATON P. (2007), Éléments de problématiques et de méthodologie pour une didactique de l'épistémologie et de l'histoire des sciences et des techniques (EHST), IUFM du Nord Pas de Calais. Colloque *Théories et expériences dans les didactiques de la géographie et de l'histoire. La question des références pour la recherche et pour la formation*.
- GUEDJ M. (2005). Utiliser des textes historiques dans l'enseignement des sciences physiques en classe de seconde des lycées français : compte-rendu d'innovation, *Didaskalia*, n°26, mai 2005.
- GUEDJ M. et DUSSEAU J.M. (1999). À propos d'une formation des enseignants de sciences physiques à l'épistémologie et l'histoire des sciences, *Bulletin de l'union des physiciens*, n°815, pp. 991- 1005.
- GUILBERT L. (1992). L'idée de science chez des enseignants en formation; une analyse quantitative et qualitative à partir d'un test, *The Canadian Journal of Higher Education*, 22 (3) : 76-107.
- GUILBERT L, MELOCHE L. (1993): L'idée de science chez les enseignants en formation : un lien entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions ?, *Didaskalia*, 2, Didactique et histoire des sciences, INRP.
- HODSON D. (1985). Philosophy of science, science and education, *Studies in Science Education*, 72 (1) : 19-40.
- KING B. B. (1991). Beginning teachers' knowledge of and attitudes toward history and philosophy of science, *Science Education*, 75 (1) : 135-141.
- MARTINAND J.L. (1993): Histoire des sciences et didactique de la physique et de la chimie : quelles relations ?, *Didaskalia*, 2, Didactique et histoire des sciences, INRP.
- MATTHEWS M. R. (1994). *Science teaching. The role of history and philosophy of*

science, Routledge.

RAICHVARG D.(1987) : La didactique a-t-elle raison de s'intéresser à l'histoire des sciences ?, *Aster*, 5, Didactique et histoire des sciences, INRP.

ReForEHST (2006), Histoire des sciences : formations et recherches en IUFM, *Tréma*, 26, octobre 2006.

ROSMORDUC J. (1995): L'histoire des sciences dans la formation scientifique des maîtres de l'école élémentaire, *Didaskalia*, 7, INRP.

TSAI C.-C. (2007). Teachers' scientific epistemological views: The coherence with instruction and students' views, *Science Education*, 91 (2) : 222-243.

ANNEXES

Annexe 1

Séance (1) : autour du texte de Galilée

Déroulement de la séance	Temps	Structure du texte	Tâches	Apports	Commentaires
Installation	15 min	Présentation de la séance.	Lecture de la biographie.	Biographie de Galilée.	
Lecture simple	20 min	Présentation d'une controverse sur la position d'une comète.	Lecture du texte.		Pas de questionnement sur les objets ou les auteurs.
Lecture et échanges	50 min	Arguments mathématiques.	Lecture, compréhension, et reformulation.	Aide à compréhension mathématique de la situation.	Moment d'appropriation du problème en s'appuyant sur leur connaissances. Début de l'apprentissage. Rq : la notion de « huitième sphère » ne pose pas question.
Lecture et échanges	30 min	Discussion épistémologique.	Argumentation, explicitation de sa propre vision de la discipline.	Rappel sur les différentes manières de penser la science.(séance précédente)	
PAUSE	15 min				
Lecture et échanges	40 min	Contexte épistémologique de la polémique : la nature des comètes.	Questionnement sur l'argumentation et sur ses objectifs.	Présentation de l'univers selon Aristote et sur la notion de mouvement.	Appropriation de la situation, besoin de contextualisation.

Annexe 2

Séance (2) : autour du texte de Maxwell

Déroulement de la séance	Temps	Structure	Tâches	Apports	Commentaires
Installation	5 min	Présentation de la séance.			
Lecture et échanges	50 min	Nature et objet de la science physique.	Lecture de la biographie. Lecture du début (15 min), recherche des thèmes abordés par l'auteur, premiers échanges sur les thèmes mis en évidence (notion de système, les outils, les systèmes de mesure).	Biographie de Maxwell. Erratum sur la traduction. Rappels sur Euclide.	
Échanges	30 min	Comparaison de systèmes : rôle des unités.	Questionnement sur le système métrique.	Panorama sur l'élaboration d'un système unifié, place de Maxwell dans son développement.	Pas de questionnements : les unités sont évidentes.
PAUSE	15 min				
Lecture et échanges	40 min	Introduction de l'outil vectoriel.	Donner la définition d'un vecteur, lecture du texte de Bellavitis, échanges, place dans les programmes du collège.	Présentation d'éléments d'histoire des vecteurs comme une élaboration conjointe entre physiciens et mathématiciens. Texte de Bellavitis.	Pas de questionnement, pas d'appropriation.
Lecture et échanges	25 min	L'espace : critique de Descartes sur le vide.	Lecture de la fin du texte (10 min). Expliciter la controverse. Échanges sur la question de l'éther.	Aides pour la compréhension de la situation, expériences de pensée.	Appropriation de la situation et questionnements. Début de l'apprentissage.

Déroulement de la séance	Temps	Structure	Tâches	Apports	Commentaires
FIN DE LA SEANCE					
Pas fait.	*	Le temps et la causalité : exemple de la découverte de Jupiter.		Apports possibles : histoire de la découverte de Jupiter et les méthode en science.	
Pas fait.	*	Les axiomes de la science physique : les mêmes causes produisent les mêmes effets, etc.		Apports possibles : les définitions de la science, liens entre mathématiques et physique.	

Annexe 3

Des polygones réguliers

Le mot polygone est un mot d'origine grecque. Il est issu du mot « *polus* » qui veut dire nombreux, et du mot « *gônia* » qui veut dire angle.

Un polygone régulier est un polygone dont tous les côtés sont superposables et dont tous les angles ont la même mesure. On peut les construire à partir d'un cercle.

Dès l'Antiquité, les géomètres se sont intéressés aux propriétés des polygones réguliers. En particulier, ils se sont posé la question de savoir s'il était possible de construire tous ces polygones en utilisant uniquement la règle non graduée et le compas. Il faudra attendre le XIX^{ème} siècle pour avoir une réponse à cette question.

Les polygones réguliers les plus simples à construire sont le triangle équilatéral et l'hexagone régulier.

Voici un programme de construction proposés par Euclide pour obtenir un pentagone et un décagone réguliers (il est réécrit dans le langage actuel) :

- 1) Trace un cercle de centre O .
- 2) Trace un diamètre $[AB]$.
- 3) Trace un rayon $[OL]$, perpendiculaire à $[AB]$.
- 4) Place le milieu K du segment $[AO]$.
- 5) Trace le cercle de centre K et de rayon KL .
Il coupe le segment $[OB]$ en M .
- 6) Reporte dix fois la longueur OM sur le premier cercle en partant de L .
Tu obtiens les dix sommets du décagone régulier.
- 7) En prenant un point sur deux, tu peux ensuite tracer le pentagone régulier.

Voici comment Sébastien Le Clerc (1637-1714) fait pour construire un carré inscrit dans un pentagone.

Le texte est écrit en vieux français :



